

理科教育における放射線障害防止に関する研究(その1)

豊 原 久 夫

この研究は前報について、クルックス管から放射するX線による照射線量を測定し、放射線防護の立場からこれを検討したものである。本研究では、とくに十字板入りクルックス管をとりあげ、これから放射するX線の照射線量率の分布状況を測定し、被曝線量を算定した。また、このクルックス管を使用するに当たり、ICRP勧告13の放射線防護の基準をもとにしてX線防護策を考察し、実際に放射線遮閉用の装置を作成して検討した。

1 はじめに

前報¹⁾においては、クルックス管などの真空放電管から放射されているX線の照射線量率を測定し、放射線防護のための資料を報告した。

本研究では、これに続いて、これらの理科器具のうち、最大強度の照射線量率を示した十字板入りクルックス管をとりあげて、それから放射するX線による、いろいろな場所における照射線量率を求めた。そして、この測定結果をもとに、今後この理科器具を使用するに当たってのX線防護策を検討し、クルックス管に付属する防護用装置を試作したので報告する。

2 理科教育における放射線防護の考え方

(1) 低線量被曝防止の必要性

クルックス管から放射するX線は、それを発生させることを目的とした放射線源からのものではなく、実験中に副次的にもれ出てくる、いわゆる潜在線源からの放射線である。

従来までの理科教育においては、クルックス管からはX線が放射していることに気づいていたが、その放射線による照射線量率については検討されていなかった。

確かに、クルックス管から放射するX線による被曝は低線量であり、放射線作業時に職業人が受ける大線量被曝とは違って、身体的な早期効果をひき起こすほどのものではない。しかし、青少年教育においては、たとえ低線量被曝であっても、それによる晩発効果、遺伝的影響について憂慮せざるを得ない。

低線量被曝防止の基本的な考え方については、ICRP(国際放射線防護委員会)勧告9「危険度の仮定²⁾」に求めることができ、その骨子は次の①、②である。

① 放射線に対するいかなる被曝にも、白血病その他の悪性腫瘍を含む身体的効果および遺伝的効果を発現させる危険がいくらかある。

② 最低レベルの線量にいたるまで、病気や不具合をひき起こす危険は、個人に蓄積される線量とともに増大し、まったく安全な放射線の線量というものは存在しない。いくつかの効果の発現には、しきい線量があるかも知れないことを認めてはいるが、肯定する知識がないので、低線量被曝でも傷害の危険があると考ええる。

以上の低線量被曝防止の観点に基いて、筆者は、学校被曝に再検討を加え、理科教育における放射線防護の対策を立てるべきであると考えた。

(2) 放射線防護の基準

① 公衆の放射線防護

ICRP 勧告に基づき、わが国では、一般公衆の放射線防護について、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法令(以下放射線障害防止法という)で表1のように規定しているので、この基準をもとにして被曝線量の評価をした。

表1 放射線障害防止に関する基準

- | |
|--|
| (i) 教師、生徒：許容線量 10 ミリレム/週……………放射線防止に関する政令第12条，告示第4条 |
| (ii) 生徒：18歳未満の者の放射性同位元素又は放射性同位元素によって汚染された物の取扱いの禁止，ただし、准看護婦その他総理府令で定める者については適用外……………放射線障害防止に関する法律第31条 |

② 学校被曝

クルックス管から放射するX線による被曝線量を評価するに当たって、わが国では、まだ学校被曝に対する基準が示されていないので、ICRP 勧告13の「18歳までの生徒に対して学校における放射線防護」⁴⁾に示されている表2の(4)、(7)項にX線防護の基準を求めた。

表2 ICRP 勧告13に示されている放射線防護の基準

- | | |
|---|----------|
| (4) 科学課程の約18才までの個々の生徒が受ける年線量が、公衆の構成員に対し勧告される線量限度の1/10を越えることはほとんどないような状況をつくることである。それゆえ、「学校被曝」に対し勧告される年線量限度は次のようである。 | |
| 生殖腺および赤色骨髓 | 50 mrem |
| 皮膚、骨、甲状腺 | 300 mrem |
| 手及び前腕、足及びくるぶし | 750 mrem |
| 他の単一器官 | 150 mrem |
| (7) ラジオグラフィー、蛍光透視、X線回折、X線分析などの生徒実験、あるいは講義実験のためのすべてのX線装置は、最高条件下での照射線量率がしゃへい物から5 cmの距離で0.5 mR/時を越えないように、防護しゃへいの中に完全に（放射線錐を含めて）閉じこめるべきである。 | |

3 測定方法

動作状態におけるクルックス管の周りの空間照射線量率及び、X線の線質を測定するため、電離箱式サーベイメーター及び、ポケット線量計を使用した。また、クルックス管から放射するX線による照射線量率のイメージを明確にするために、ソフテックスのX線による照射線量率と比較してみた。

測定に用いた器具及び、放射線測定器を表3に示した。

表3 測定対象の理科学器具及び放射線測定器の規格

器具及び放射線測定器	規 格	備 考
十字板入りクルックス管		中村理科
電離箱式サーベイメーター	100, 10, 1 mR/h	Aloka, γ線用
ポケット線量計	100 mR	理研 X, γ線防護用
ソフテックス	管電圧 15, 16.5, 18 kV	小泉 X線工社

4 結果と検討

(1) クルックス管の周りの広範囲にわたる照射線量率

机上に置かれたクルックス管から放射するX線による放射線量率を、距離をかえて水平方向と垂直方向から、電離箱式サーベイメーターを用いて測定した。

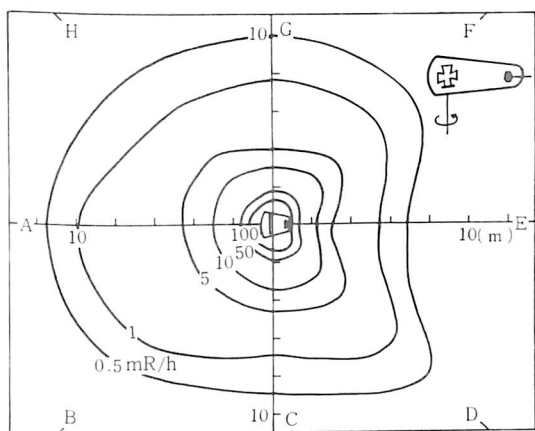


図1 水平方向の照射線量率

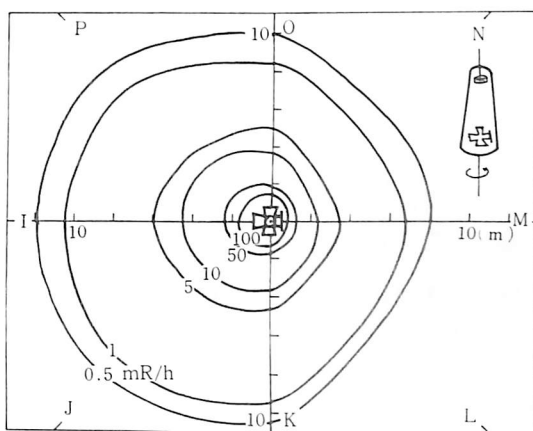


図2 垂直方向の照射線量率

① 水平方向の照射線量率

十字板を中心にA～Hの8方向について、距離と照射線量率の関係を測定し、その結果を図1に示した。照射線量率の強度分布は、方向によってかなりの違いがみられた。1000mR/hの照射線量率を示す位置は、E方向の0.9mから、D方向の1.4mまで広がっている。

また、0.5mR/hの照射線量率を示す区域は、E方向の7mから、D方向の11.4mまで広範囲にわたっている。

② 垂直方向の照射線量率

十字板を含む面で、距離と照射線量率の関係を測定し、その結果を図2に示した。

照射線量率はI方向に強い分布を示した。1000mR/hの照射線量率を示す区域は、M方向の0.8mから、I方向の1.7mまで広がっている。また、0.5mR/hの照射線量率を示す区域は、7.6mから11.9mと①と同様に、広範囲にわたっている。

(2) クルックス管より1m以内での照射線量率

クルックス管から放射するX線による照射線量率の強度分布は、方向によってかなりの違いがあるので、最大強度を示す方向の放射線防護を考慮して、D方向の距離と照射線量率の関係を調べた。

十字板よりD方向での距離と照射線量率の関係をポケット線量計を

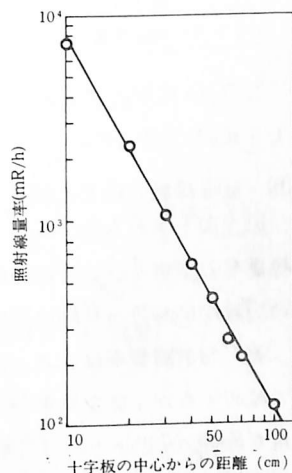


図3 十字板より1m以内での照射線量率

用いて測定し、距離と照射線量率の関係を示したのが図3である。

距離と照射線量率の間には逆2乗の関係がある。十字板から1mの距離で 120mR/h 、10cmの距離では 8R/h と、十字板の近傍では、高照射線量率を示した。

(3) クルックス管のごく近くでの照射線量率

演示実験における教師の手、前腕の被曝線量を予測するために、クルックス管のごく近くでの照射線量率を調べた。

十字板を中心に、水平方向16cmの距離での照射線量率をポケット線量計で測定し、その方向による強度分布を極座標で示したのが図4である。

クルックス管からのX線が最大線量率を示したのは、F方向の位置であった。これは、管電圧18kVのソフテックスのX線管から、55cmの距離における照射線量率の約 $1/7$ に相当した。

(4) クルックス管から放射するX線の線質の決定

図5に示すように、クルックス管を厚さ2mmの鉛板で囲み、その前面には、直径1cmの穴をあけた鉛ブロックを置いてコリメートした。鉛ブロックの穴と電離箱サーベイメーターの間にAlの吸収板を置き、吸収板の厚さをかえて照射線量率を測定した。その結果を図6に示した。

このグラフから半価層 $D_{1/2}$ 、線吸収係数 μ 、全質量吸収係数 μ_m を求め、表4に示した。

表4 アルミ板の半価層、線吸収係数、全質量吸収係数

$D_{1/2}$ (cm)	0.59
μ (cm^{-1})	12.2
μ_m (g/cm^2)	4.52

この μ_m に対応するX線のエネルギーを文献値から求めると、⁵⁾ 19 KeVであった。

(5) 被曝線量の推定と検討

以上の十字板入りクルックス管から放射するX線による照射線量率の測定及び、X線の線質の推定から、この器具を用いての実験中における被曝の実態を総括してみる。

① 照射線量率はクルックス管からの距離の2乗に反比例して減弱するが、測定結果からICRP勧告の示す学校被曝限界線量 0.5mR/h 以下という区域は7~11mより遠い位置である。つまり、教室はこの 0.5mR/h 以上の照射線量率の区域にすっぽりはいることになる。

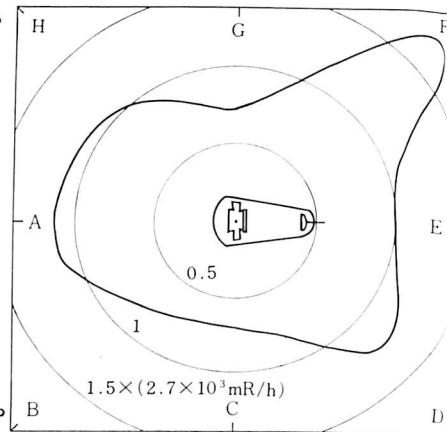


図4 クルックス管のごく近くでの照射線量率の方向による強度分布

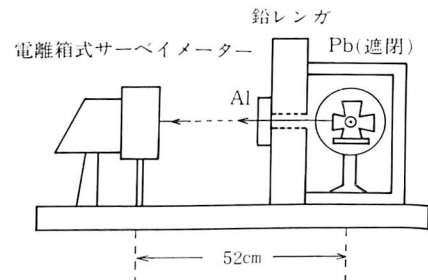


図5 クルックス管から放射するX線の線質測定のためのジオメトリ

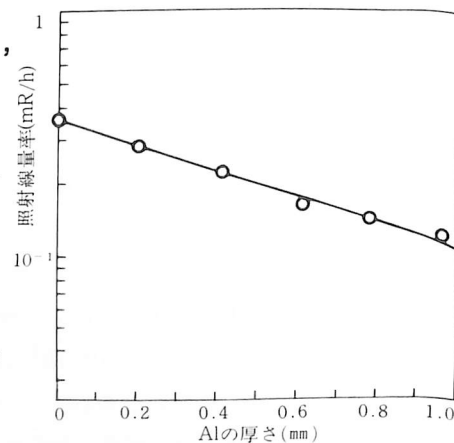


図6 Alの厚さと照射線量率

② クルックス管から 0.5 m の位置での照射線量率は、 400 mR/h である。この位置での 1 分間照射による被曝線量は、管電圧 18 kV のソフテックスの X 線管直下約 1 m で 2 秒間照射したものに相当する。

③ 十字板を含む垂直方向の照射線量率は、十字板の傾きぐあいから I 方向の強度が大きく、教師、生徒の目の位置は、高い照射線量率の範囲にある。

④ クルックス管の周りに磁石を近づける場合のように、例えば、十字板の中心から 16 cm のところに手を置けば、手は、 3.3 R/h という照射線量率で被曝する。

⑤ 線質は低エネルギーに属する。

以上のように、クルックス管を教卓に置き、教師と生徒がこれを囲んで実験しているときには、かなりの被曝が考えられる。とくに、この実験を何回もくり返す教師の被曝が問題である。

このような高い照射線量率のもとでの全身照射では、容易に生殖腺、赤色骨髓線量を越すことになる。また、クルックス管のごく近くでは、手、前腕の許容線量をはるかに越えることになるかと推定される。

5 放射線防護対策

(1) 放射線防護の検討

演示実験中、クルックス管から放射する X 線による被曝線量は、ICRP 勧告に示されている防護の基準をはるかに越えるものと推定されるところから、放射線防護の対策を講じた上で使用することが望まれる。

放射線防護の原則には、線源からの距離を保つこと、使用する時間を短くすること、線源からの放射線を遮閉することの 3 つがある。

クルックス管からの距離を保つのでは、じゅうぶんな観察ができない。手順よく実験を進めていけば短時間で終わることができるとしても、いかに短時間といえども、高い照射線量率のもとに身体をさらしておくことは望ましいことではない。したがって、このクルックス管の使用に当たっては、遮閉することが適切であると考えた。

(2) 普通ガラス、鉛ガラスによる遮閉と散乱 X 線

クルックス管の前面にのみ、遮閉板を置いただけでは、スカイシャイン（空気の子による散乱）及び、机からの散乱が大きく効くため、じゅうぶんな遮閉はできない。

図 7 のようなジオメトリで、クルックス管とポケット線量計（クルックス管の十字板の中心から C 方向 12 cm の位置に置く）の間に普通ガラスを置き、その厚さをかえていくときの照射線量率及び、クルックス管を厚さ 2 mm の鉛板で覆い、ガラスの

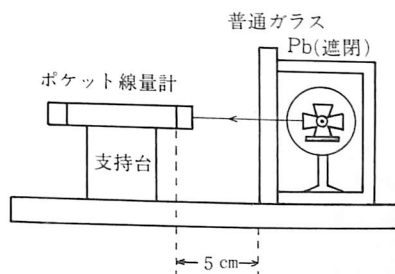


図 7 遮閉効果の測定ジオメトリ

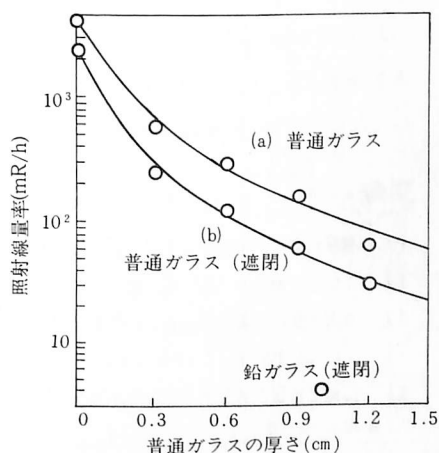


図 8 ガラスの厚さと照射線量率

厚さをかえていくときの照射線量率を測定した結果を図8(a), (b)に示した。

クルックス管をはだかのままにしておく場合より、後方を鉛板で覆ったときの方が線量率は60%減少している。このことは、鉛板で前面以外を覆うことが、スカイシャインを少なくすることに効果があることを示す。それゆえ、クルックス管から放射するX線を遮閉するためには、クルックス管の前面に鉛ガラス等の遮閉板を置くだけでなく、クルックス管をすっぽり遮閉する必要がある。

また、後方を遮閉した場合でも、ガラスの厚みと照射線量率が、きれいな指数関数的に減弱しないのは、ガラスを透過した後のスカイシャインの影響と考えられる。

(2) 放射線防護装置をつけたクルックス管

ICRP勧告13で示す基準、すなわち遮閉物から5cmの距離における照射線量率を 0.5mR/h におさえることを意図してクルックス管に放射線防護装置を取り付けた。図9はその試作品である。

クルックス管の前方以外は、厚さ2mmの鉛板で覆い、前面は透明な厚さ10mmの鉛ガラス張りにして、中がよく見えるようにした。

この装置を用いた場合、前面の鉛ガラスから5cmの距離における照射線量率は 0.2mR/h であった。この照射線量率は、鉛ガラス1枚の前面遮閉板だけの遮閉の場合の5%に減少しており、すぐれた遮閉効果を示した。

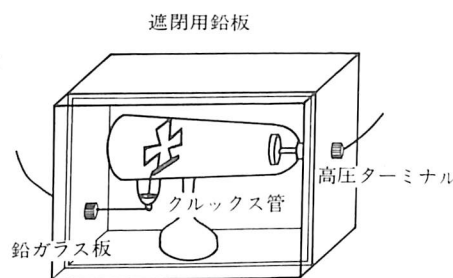


図9 放射線防護装置をつけたクルックス管

6 おわりに

十字板入りクルックス管からは、多量のX線が放射しており、とくにこの器具の近くでは、高い照射線量率を示している。被曝線量も、許容線量を越えるものと推定されるところから、このクルックス管を使用するに当たっては、放射線防護対策を早急に講じる必要がある。

わが国でも、ICRP勧告に示されている“低線量被曝の影響”を重視し、とくに青少年教育における放射線の取り扱いを考慮して、学校被曝に対する基準を設定すべきである。そして、その基準に照らして、副次的に放射線を放射する理科器具の安全対策に当たることが大切である。

文献

- 1) 豊原久夫：研究報告第8号，新潟県立教育センター（1976）1～6
- 2) ICRP勧告9：国際放射線防護委員会勧告，日本アイソトープ協会（1967）12
- 3) 放射性同位元素等による放射線障害防止に関する法令集，日本アイソトープ協会（1974）
- 4) ICRP勧告13：18歳までの生徒に対しての学校における放射線防護，日本アイソトープ協会（1972）3，8
- 5) 山崎文男編：放射線，共立出版（1973）654